

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-356719

(43)Date of publication of application : 26.12.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/10

G02B 6/16

G02B 6/20

G02B 6/42

H01S 3/06

H04B 10/28

H04B 10/02

(21)Application number : 2000-144727

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 17.05.2000

(72)Inventor : RANKA JINENDRA KUMAR  
WINDELER ROBERT SCOTT

(30)Priority

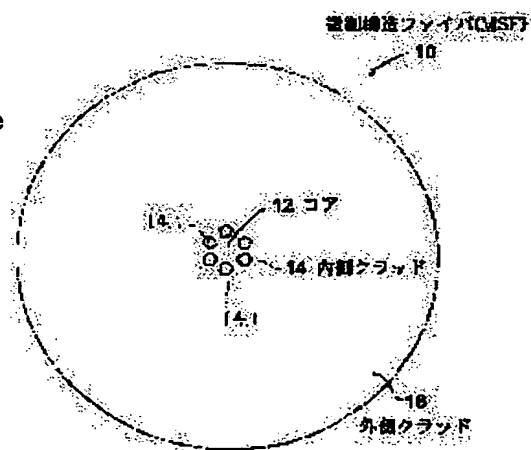
Priority number : 99 313006 Priority date : 17.05.1999 Priority country : US

## (54) FINE STRUCTURE OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a device which exhibits a relatively large nonlinear interaction at visible and near IR (vis-nir) wavelengths.

**SOLUTION:** A suitably designed optical waveguide exhibits an abnormal (positive) dispersion over the continuous body of the vis-nir wavelength and the fiber 10 exhibits zero dispersion at a visible wavelength (for example, about 760 nm). These characteristics are achieved by mutually matching a core region 12 and the refractive index difference between the core region 12 and a clad 14 (making the core region 12 relatively small and making the refractive index difference relatively large). In a more preferable embodiment, the zero dispersion point occurs at the vis-nir wavelength. For example, the optical waveguide is fine structure fiber 10 having the silica core 12 enclosed by the relative thin inner clad 14 having plural capillary holes 14 and 1 enabling the refractive index waveguide in the core 12. The patterns of the cross sections of the holes are for example, hexagonal or triangular.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-356719  
(P2000-356719A)

(43) 公開日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 B	6/10	G 0 2 B	6/10
	6/16		6/16
	6/20		6/20
	6/42		6/42
H 0 1 S	3/06	H 0 1 S	3/06
審査請求 未請求 請求項の数55 O L (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-144727(P2000-144727)  
(22) 出願日 平成12年5月17日(2000. 5. 17)  
(31) 優先権主張番号 09/313006  
(32) 優先日 平成11年5月17日(1999. 5. 17)  
(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596077259  
ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド  
Lucent Technologies  
Inc.  
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700  
(74) 代理人 100081053  
弁理士 三俣 弘文

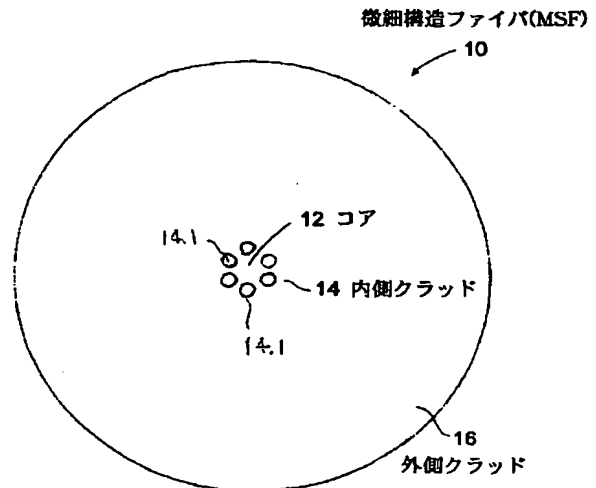
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細構造光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 可視および近赤外(vis-nir)波長で比較的大きい非線形相互作用を示すデバイスを実現する。

【解決手段】 適当に設計した光導波路は、vis-nir波長の連続体にわたり異常(正)分散を示し、一実施例によるファイバ10は、可視波長(例えば約760nm)でゼロ分散を示す。これらの特性は、コア領域12と、コア12とクラッド14の間の屈折率差とを相互に適合させる(コア領域12を比較的小さくし、屈折率差を比較的高くすることによって達成される。好ましい実施例では、ゼロ分散点はvis-nir波長で生じる。例えば、光導波路は、コア12内の屈折率導波を可能にする複数の毛管空孔14.1を有する比較的薄い内側クラッド14により包囲されたシリカコア12を有する微細構造ファイバ10である。空孔の断面のパターンは、例えば六角形や三角形である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光放射が伝搬することが可能なコア領域と、  
前記コア領域を包囲し、前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、  
前記内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有する微細構造光ファイバにおいて、  
前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの比較的薄い層として配置された複数の構造を有し、該構造は、光放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバがvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする微細構造光ファイバ。

【請求項2】 前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きく、前記コアの有効面積は約 $40\mu\text{m}^2$ より小さいことを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項3】 前記構造の外側境界は、前記コア領域の外側境界から約 $10\sim 30\mu\text{m}$ 未満にあることを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項4】 前記構造は、複数の比較的薄い層として配置されることを特徴とする請求項3に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項5】 前記内側クラッド領域は、前記構造を形成する毛管空孔を有することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項6】 前記構造によって形成されるパターンは六角形をなすことを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項7】 前記構造によって形成されるパターンは三角形をなすことを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項8】 前記コア領域および前記クラッド領域はシリカからなることを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項9】 前記構造は毛管空孔を有し、前記ファイバは、約 $700\text{nm}$ から約 $1270\text{nm}$ までの波長範囲にわたり異常群速度分散を示すことを特徴とする請求項8に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項10】 前記微細構造光ファイバは、光送信器、光受信器、および、該送信器と該受信器を光学的に接続する光ファイバ伝送路をさらに有し、  
前記伝送路は、前記微細構造光ファイバの一部であり、  
前記送信器は、前記ADR内のある波長で光信号を発生することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項11】 前記微細構造光ファイバは、光パルス

さらに有し、

前記ファイバは、前記微細構造光ファイバの第1部分であり、前記パルスの波長は、前記ADR内にあり、約 $1270\text{nm}$ より小さいことにより、時間領域で前記パルスを圧縮することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項12】 前記光源は、負のチャープとともに前記パルスを発生する半導体レーザを有することを特徴とする請求項11に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項13】 前記パルスの波長は前記ADR内の前記ゼロ分散波長付近にあり、前記パルスのパワーは前記ファイバ中にソリトン伝搬を生成することを特徴とする請求項11に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項14】 前記ファイバは、負の常分散または自己位相変調を有する第2部分を有し、前記第1部分は、前記第2部分の常分散または自己位相変調を補償する正の異常分散を有することを特徴とする請求項11に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項15】 前記微細構造光ファイバは、ポンプ光源と、該ポンプ光源のポンプ出力を受け取る光ファイバとをさらに有し、  
前記ファイバは、前記微細構造光ファイバの少なくとも一部であり、  
前記ポンプ出力の波長 $\lambda_p$ は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記微細構造光ファイバは、vis-nir波長の放射のブロードバンド連続体を発生することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項16】 前記ゼロ分散波長を $\lambda_0$ として、 $\lambda_0$ は、不等式 $\lambda_0 - \Delta\lambda_1 < \lambda_0 < \lambda_0 + \Delta\lambda_2$ を満たし、 $\Delta\lambda_1$ と $\Delta\lambda_2$ は必ずしも相等しくないことを特徴とする請求項15に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項17】 前記ファイバはシリカからなり、 $690\text{nm} < \lambda_0 < 1270\text{nm}$ であることを特徴とする請求項16に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項18】  $\lambda_0$ は、前記微細構造光ファイバの材料分散が $-50\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ となる波長より小さいことを特徴とする請求項15に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項19】 前記微細構造光ファイバは、光キャビティ共振器を形成する共振器手段をさらに有し、該共振器手段は、前記光ファイバを含み、該光ファイバの少なくとも一部には活性媒質がドーブされ、前記ポンプ出力の波長は、前記ADR内にあり、前記ゼロ分散波長にほぼ等しいことを特徴とする請求項15に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項20】 前記ファイバの少なくとも一部のセグメントの分子を非周期的に分極して該ファイバ中の2次の非線形効果を増大させたことを特徴とする請求項15に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項21】 前記ファイバは、可視波長範囲にわた

り異常群速度分散を示すとともに、同じ範囲にゼロ分散波長を有することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項22】 前記コア領域は、約 $-50\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 以下の常材料分散を有し、前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きいことにより、前記ゼロ分散波長において、異常導波路分散が前記常材料分散を補償することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項23】 光放射が伝搬することが可能なコア領域と、  
前記コア領域を包囲し、前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、  
前記内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有する微細構造光ファイバにおいて、  
前記内側クラッド領域は、前記コア領域の両側に配置された1対のほぼ半円形の構造を有し、該構造は、光放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバがvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする微細構造光ファイバ。

【請求項24】 前記コア領域から前記外側クラッド領域に延び、前記構造を互いに分離する1対のウェブ部材をさらに有することを特徴とする請求項23に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項25】 前記内側クラッド領域は、前記構造を形成する空孔を有することを特徴とする請求項23に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項26】 前記ファイバは、可視波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに、同じ範囲にゼロ分散波長を有することを特徴とする請求項23に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項27】 前記コア領域は、約 $-50\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 以下の常材料分散を有し、前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きいことにより、前記ゼロ分散波長において、異常導波路分散が前記常材料分散を補償することを特徴とする請求項23に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項28】 光信号を発生する送信器と、  
前記信号を受信する受信器と、  
前記送信器から前記受信器へ前記信号を結合する伝送媒体とを有する光通信システムにおいて、  
前記媒体は光導波路の部分とを有し、該導波路は、  
前記信号が伝搬するコア領域と、  
前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、  
前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有す

るように相互に適合され、  
前記送信器は前記ADR内のvis-nir波長で光信号を発生することを特徴とする光通信システム。

【請求項29】 前記導波路は、微細構造光ファイバの第1部分であり、該第1部分は、  
前記信号が伝搬するコア領域と、  
前記コア領域を包囲し前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、該内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを含むクラッド領域とを有し、  
前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りに配置された複数の構造を有し、該構造は、前記信号の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記導波路が前記vis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする請求項28に記載の光通信システム。

【請求項30】 前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの薄い層として配置された複数の構造を有し、  
前記構造の外側境界は、前記コア領域の外側境界から約 $10\sim 30\mu\text{m}$ 未満にあることを特徴とする請求項29に記載の光通信システム。

【請求項31】 前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きく、前記コアの有効面積は約 $40\mu\text{m}^2$ より小さいことを特徴とする請求項29に記載の光通信システム。

【請求項32】 前記コア領域は、約 $-50\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 以下の常材料分散を有し、前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きいことにより、前記ゼロ分散波長において、異常導波路分散が前記常材料分散を補償することを特徴とする請求項28に記載の光通信システム。

【請求項33】 光パルスが発生するレーザと、  
前記パルスを受け取るシングルモード光導波路とを有する光システムにおいて、

前記導波路は、  
前記パルスが伝搬するコア領域と、  
前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、  
前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、  
前記レーザは前記ADR内のvis-nir波長で光信号を発生することにより前記パルスを圧縮することを特徴とする光システム。

【請求項34】 前記導波路は、微細構造光ファイバの第1部分であり、該第1部分は、  
前記パルスが伝搬するコア領域と、  
前記コア領域を包囲し前記コア領域よりも有効屈折率が

低い内側クラッド領域と、該内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを含むクラッド領域とを有し、前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りに配置された複数の構造を有し、該構造は、前記パルスの屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバが前記vis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする請求項33に記載の光システム。

【請求項35】 前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの薄い層として配置された複数の構造を有し、前記構造の外側境界は、前記コア領域の外側境界から約10～30μm未満にあることを特徴とする請求項34に記載の光システム。

【請求項36】 前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きく、前記コアの有効面積は約40μm<sup>2</sup>より小さいことを特徴とする請求項34に記載の光システム。

【請求項37】 前記光源は、負のチャープとともに前記パルスを発生する半導体レーザを有することを特徴とする請求項34に記載の光システム。

【請求項38】 前記パルスの波長は前記ADR内の前記ゼロ分散波長付近にあり、前記パルスのパワーは前記ファイバ中にソリトン伝搬を生成することを特徴とする請求項34に記載の光システム。

【請求項39】 前記導波路は、負の常分散または自己位相変調を有する光ファイバの第2部分を有し、前記第1部分は、前記第2部分の常分散または自己位相変調を補償する正の異常分散を有することを特徴とする請求項34に記載の光システム。

【請求項40】 前記コア領域は、約-50ps/nm・km以下の常材料分散を有し、前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きいことにより、前記ゼロ分散波長において、異常導波路分散が前記常材料分散を補償することを特徴とする請求項33に記載の光システム。

【請求項41】 ポンプ信号を発生するポンプ光源と、前記ポンプ信号を受け取る光導波路とを有する、vis-nir波長で放射を発生する光発生器において、前記導波路は、

前記信号が伝搬するコア領域と、  
前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、  
前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、

前記ポンプ出力の波長λ<sub>0</sub>は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記導波路は、vis-nir波長のブロー

ドバンド連続体として前記放射を発生することを特徴とする光発生器。

【請求項42】 前記導波路は、微細構造光ファイバを含み、該微細構造光ファイバは、前記パルスが伝搬するコア領域と、前記コア領域を包囲し前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、該内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを含むクラッド領域とを有し、前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りに配置された複数の構造を有し、該構造は、前記放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバが前記vis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする請求項41に記載の光発生器。

【請求項43】 前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの薄い層として配置された複数の構造を有し、前記構造の外側境界は、前記コア領域の外側境界から約10～30μm未満にあることを特徴とする請求項42に記載の光発生器。

【請求項44】 前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きく、前記コアの有効面積は約40μm<sup>2</sup>より小さいことを特徴とする請求項42に記載の光発生器。

【請求項45】 前記ゼロ分散波長をλ<sub>0</sub>として、λ<sub>0</sub>は、不等式λ<sub>0</sub>-Δλ<sub>1</sub><λ<sub>0</sub><λ<sub>0</sub>+Δλ<sub>2</sub>を満たし、Δλ<sub>1</sub>とΔλ<sub>2</sub>は必ずしも相等しくないことを特徴とする請求項42に記載の光発生器。

【請求項46】 前記ファイバはシリカからなり、690nm<λ<sub>0</sub><1270nmであることを特徴とする請求項45に記載の光発生器。

【請求項47】 λ<sub>0</sub>は、前記導波路の材料分散が-50ps/nm・kmとなる波長より小さいことを特徴とする請求項41に記載の光発生器。

【請求項48】 前記光発生器は、光キャビティ共振器を形成する共振器手段をさらに有し、該共振器手段は、前記導波路を含み、該導波路の少なくとも一部には活性媒質がドーブされ、前記ポンプ信号の波長は、前記ADR内にあり、前記ゼロ分散波長にほぼ等しいことを特徴とする請求項41に記載の光発生器。

【請求項49】 前記ファイバの少なくとも一部のセグメントの分子を非周期的に分極して該ファイバ中の2次の非線形効果を増大させたことを特徴とする請求項41に記載の光発生器。

【請求項50】 基本横モードポンプ信号を発生するポンプ光源と、前記ポンプ信号を受け取る光導波路とを有する、vis-nir波長で放射を発生する光発生器において、前記導波路は、

前記信号が伝搬するコア領域と、  
前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、  
前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、  
前記ポンプ出力の波長 $\lambda_p$ は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記導波路は、基本横モードで、前記ポンプ出力の波長より短いvis-nir波長で前記放射を発生することを特徴とする光発生器。

【請求項51】 前記導波路は、微細構造光ファイバを含み、該微細構造光ファイバは、  
前記パルスが伝搬するコア領域と、  
前記コア領域を包囲し前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、該内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを含むクラッド領域とを有し、  
前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りに配置された複数の構造を有し、該構造は、前記放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバが前記vis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする請求項50に記載の光発生器。

【請求項52】 前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの薄い層として配置された複数の構造を有し、  
前記構造の外側境界は、前記コア領域の外側境界から約10～30 $\mu\text{m}$ 未満にあることを特徴とする請求項51に記載の光発生器。

【請求項53】 前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きく、前記コアの有効面積は約40 $\mu\text{m}^2$ より小さいことを特徴とする請求項51に記載の光発生器。

【請求項54】 前記コア領域は、約-50ps/nm $\cdot$ km以下の常材料分散を有し、前記コア領域と前記内側クラッド領域の間の有効屈折率差は約5%より大きいことにより、前記ゼロ分散波長において、異常導波路分散が前記常材料分散を補償することを特徴とする請求項50に記載の光発生器。

【請求項55】  $\lambda_p$ は、前記導波路の材料分散が-50ps/nm $\cdot$ kmとなる波長より小さいことを特徴とする請求項50に記載の光発生器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光導波路に関し、特に、このような導波路を利用する物品（デバイス、装置およびシステム）に関する。

【0002】

【従来の技術】米国特許第5,802,236号（発行 50

日：1998年9月1日、発明者：D.J. DiGiovanni et al.）（以下「DiGiovanni米国特許」という）には、屈折率導波により放射を導波する非周期的微細構造光ファイバが記載されている。DiGiovanni米国特許によれば、コア領域およびクラッド領域を適当に選択することにより、コア領域とクラッド領域の有効屈折率差 $\Delta$ を大きくすることが可能であり、一般に5%以上にすることが可能であり、また、10%や20%にすることも可能である。このような高い $\Delta$ により、基本導波モードのモードフィールド径を小さくし（通常2.5 $\mu\text{m}$ 未満）、その結果、コア領域において高い放射強度が得られる。例えば、ファイバは、内側クラッド領域および外側クラッド領域により包囲された固体シリカコア領域を有する。一実施例では、クラッド領域は、ファイバ軸方向に延びる毛管ボイド(capillary void)を有し、外側クラッド領域のボイドの直径は、内側クラッド領域のボイドの直径より大きいため、外側クラッド領域の有効屈折率は、内側クラッド領域の有効屈折率より大きくなる。また、DiGiovanni米国特許によれば、このタイプの非周期的微細構造ファイバは、潜在的に多くの使用法（例えば、分散補償ファイバ（分散勾配補償のあるものおよびないもの）、増幅ファイバ、レーザ、可飽和吸収体、ファイバグレーティング、および非線形素子）がある。

【0003】分散補償に関しては、DiGiovanni米国特許の図6と、第5欄第61行以下の関連する記載には、約1515～1600nmの赤外波長における例示的な微細構造ファイバの群速度分散スペクトルの計算値がある。図5に示すように、ファイバは、シリカコアと、空気毛管クラッド構造とを有する。このファイバの負分散スペクトル（実線61）が、市販の5D<sup>(TM)</sup>伝送ファイバの正分散スペクトル（破線62）と比較される。20nm以上（例えば約50nm）のスペクトルレンジにわたり、約1kmのDiGiovanni米国特許のファイバは、94kmの通常のシングルモード伝送ファイバの正分散をほぼ完全に補償する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、DiGiovanni米国特許には、さらに短い波長における微細構造ファイバのファイバ分散については記載されておらず、特に、可視および近赤外波長において動作するようなファイバについては記載されていない。他方、標準的なシングルモードファイバは、可視波長領域で大きい常（負）群速度分散を示すため、電磁スペクトルのこの部分における非線形光相互作用を極度に制限する。さらに、従来、可視および近赤外波長で比較的大きい非線形相互作用を示すデバイスおよびシステムが必要とされている。以下、vis-nir波長という用語は、紫から赤までの可視スペクトル（すなわち、約300～900nm）と、近赤外スペクトル（すなわち、シリカでは約900nm～約1270nm）を含む波長を指すものとする。vis-nir

領域の上限は、他の材料では異なることもある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、適当に設計した光導波路は、vis-nir波長の連続体にわたり異常（正）分散を示し、一実施例では、本発明によるファイバは、可視波長（例えば約760nm）でゼロ分散を示す。一般に、これらの特性は、コア領域と、コアとクラッドの間の屈折率差とを相互に適合させる（すなわち、コア領域を比較的小さくし、屈折率差を比較的高くすることによって達成される。好ましい実施例では、ゼロ分散点はvis-nir波長で生じる。ここでは、材料の常（負）分散は比較的高く、コアとクラッドの間の有効屈折率差は十分に大きいため、導波路の異常（正）分散が材料の常分散を補償する。

【0006】例えば、光導波路は、コア内の屈折率導波を可能にする複数の毛管空孔を有する比較的薄い内側クラッドにより包囲されたシリカコアを有する微細構造ファイバである。空孔の断面によって形成されるパターン（通常は円）は、密に充填された六角形や三角形のようなさまざまな幾何形状をとることが可能である。あるいは、空孔の断面は、1対の放射状ウェブによって支持されるコアの両側の、2つの対になるほぼ半円形の領域を形成することも可能である。

【0007】本発明の微細構造ファイバの新規な分散特性を比較的小さい有効面積のコアと組み合わせた結果として、本発明のいくつかの応用例では、従来の標準的なシリカファイバでは約1300nm以上の波長でしか可能ではなかったこと、例えば、パルス圧縮、明るいソリトン伝搬、基本モード間第2高調波発生、および、vis-nir領域におけるブロードバンド連続体発生が、可能である。

【0008】

【発明の実施の形態】以下の説明は3つのセクションに分かれる。第1に、vis-nir波長で異常分散を発生するのに適した微細構造ファイバ（MSF：microstructured fiber）の設計について説明する。第2に、このようなファイバのさまざまな応用例について説明する。最後に、実験結果に基づいて例を示す。以下の説明では主としてMSFに注目するが、本発明の原理は、他のタイプの導波路にも適用可能であると期待される。例えば、下部クラッドとして作用する低屈折率基板上に配置されたLiNbO<sub>3</sub>コアにより形成されるようなプレーナ導波路にも適用可能である。上部クラッドは、コアと空気との界面によって、または、コア上に配置される相対的に低い屈折率の層によって、形成されることが可能である。

【0009】一般に、本発明のさまざまな特徴による光導波路は、vis-nir波長においてゼロ分散を有する。この波長では、コアの材料の常（負）分散は比較的大きく（すなわち、 $-50\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 以下）、コアとク

ラッドの間の有効屈折率差は十分に大きい（すなわち、5%以上）ため、導波路の異常（正）分散は材料の常分散を補償する。材料分散が負で絶対値が大きくなるほど、導波路で設計される屈折率差は大きくなる。その結果、vis-nir波長の範囲にわたる異常分散と、その範囲内でのゼロ分散が得られる。さらに、導波路内の非線形効果を増大させるために、有効コア面積が比較的小さく（すなわち、 $40\mu\text{m}^2$ 以下）なる。

【0010】【微細構造ファイバの設計】図1は、本発明の一実施例によるMSF10の概略断面図である。コア12は、内側クラッド14および外側クラッド16によって包囲される。コアは、ドープすることも非ドープとすることも可能であり、固体とすることも液体とすることも可能であり、複屈折を有することも非複屈折性とすることも可能である。コアは、さまざまな形状（例えば、ほぼ円形、または、楕円形）をとることが可能である。ファイバの長軸に沿って伝搬する放射の屈折率導波を実現するために、内側クラッド14の有効屈折率はコアの有効屈折率より低い。他方、外側クラッド16は、ファイバに強度を与える。本発明の1つの特徴によれば、内側クラッド14は、内側クラッドの有効屈折率を低下させてコア中を伝搬する放射の屈折率導波を実現するように作用する複数の比較的低い屈折率のクラッド構造14、1を有する。例えば、これらの構造は、円形断面を有し例えばガラスの高屈折率マトリクス中に形成された毛管空孔からなる。通常、コアおよび外側クラッドもまたガラスからなり、さらに、ガラスはシリカである。しかし、外側クラッドは、内側クラッド中に設計されるタイプの構造を有する必要はない。

【0011】本発明の好ましい実施例では、内側クラッド構造の少なくとも1つの比較的薄い「層」が、コアの周囲に配置され、密に充填された多角形を形成する。ここで「薄い」とは、この構造の最も外側の周囲境界が、コアの最も外側の周囲境界から約10~30 $\mu\text{m}$ 以下にあることを意味する。約10~30 $\mu\text{m}$ を超える構造は、vis-nir波長における放射モードの屈折率導波にはほとんど何の役割も果たさない。単一層の構造の場合、2つの境界の間の距離は、この構造のサイズ（例えば直径）にほぼ等しい。図2に、この構造が空孔であり、その断面によって形成されるパターンが六角形である場合の単一層設計を示す。コアは、空孔どうしの間の間隙とともに、シリカからなる。例えば、空孔およびコアはほぼ円形であり、有効コア直径は約0.5~7 $\mu\text{m}$ （例えば、1.7 $\mu\text{m}$ ）であり、有効コア面積は約0.2~40 $\mu\text{m}^2$ であり、空孔の直径は0.5~7 $\mu\text{m}$ （例えば、0.7 $\mu\text{m}$ ）であり、空孔の中心間隔は0.5~7 $\mu\text{m}$ （例えば、1.6 $\mu\text{m}$ ）である。ファイバの通常の外径は約125 $\mu\text{m}$ であるが、他のサイズも適当である。 $\Delta$ は比較的大きく、例えば、約1%~30%であり、好ましくは5%以上である。ただし、 $\Delta = (n$



...core-n...core) / n...coreを百分率で表したものである。このタイプのMSFはシングルモードとすることが可能である。しかし、マルチモードMSFもまた、本発明のいくつかの応用例には適している。

【0012】本発明によるMSF設計の代替実施例を図3～図5に示す。図3および図4の外側の円は最も外側のクラッドの外側境界を表すが、図5の外側の円は内側クラッドの外側境界を表す。(図1と比較すると、図3および図4の外側クラッドは、図におけるスペースを節約するために圧縮されている。)図4では、追加の空孔を内側クラッドに含めている。例えば、第2「層」の空孔14、2は、第1層の空孔14、1の周りに密に充填され、空孔のネストされた配置を形成する。前述のように、第2層の空孔の外側境界は、コアの外側境界から約10～30μm以下とすべきである。同様に、空孔またはその他の構造のさらに多くの層を含める場合、同じ条件を満たすべきである。他方、図3および図5では、より少ない空孔が内側クラッドに含められている。すなわち、図3は、3個の空孔の密に充填された配置を示す。これらの断面のパターンは三角形を形成する。これに対して、図5は、コア12の両側にほぼ半円の空孔14、3の対を示している。コア12は、1対の放射状リブ18によって支持される。

【0013】すべての光ファイバは、標準的なファイバもMSFも、ファイバに沿って伝搬する光信号の品質と、ファイバを含む装置やシステムの性能に悪影響を及ぼす可能性のある群速度分散(GVD)を示す。GVDは2つの部分(導波路分散および材料分散)を有する。導波路分散は、コアとクラッドの間の放射の分布の関数である。材料分散は、ファイバコアを構成する材料に固有であり、波長の既知関数である。標準的なシングルモードシリカファイバでは、vis-nir領域では材料分散が支配的である。vis-nir領域では、Δが比較的低い(例えば、1%以下)ため、導波路分散は比較的低い。このようなファイバは一般に約1270nmでゼロ分散を示し、それより長波長では異常(正)のGVDを示す。このようなファイバにおけるゼロ分散点は、Δを増大させ、コアサイズを縮小することによって、長波長側(例えば、1310～1550nm)にシフトすることができると知られているが、一般に、ゼロ分散点を1270nm以下にどのようにして生成するかは知られていない。

【0014】MSFのような標準的でないファイバでは、Δが非常に大きい(例えば、5%異常)ために導波路分散がずっと重要な役割を果たすので、状況は全く異なる。例えば、D. Mogilevtsev et al., *Optics Lett.*, Vol.23, No.21, pp.1662-1664(Nov. 1998)、では、フォトニック結晶ファイバは1270nmより短い波長でゼロ分散を有することが可能であろうと予想されているが、MSFがそのような短波長でゼロ分散を有すること

が可能であるという予想や実験的検証をした文献は、発明者の知る限り存在しない。前掲のDiGiovanni米国特許でも、MSFについてはこの問題を扱っておらず、この米国特許における分散についての記載(図6)は、約1515～1600nmの狭い範囲に集中している。そして、本発明で実現された顕著な結果、すなわち、適切に設計されたMSFはvis-nir波長の範囲にわたり異常分散を有し、同じ範囲内のある波長でゼロ分散を有することは、従来全く予想されていない。以下、異常分散範囲(anomalous dispersion range)をADRという。

【0015】一般に、本発明によれば、MSFにおける導波路分散は、材料分散を補償するように変更可能であり、その結果、vis-nir波長範囲の少なくとも一部でGVDが小さくなる。本発明のMSFのこの特性により、位相整合が容易に実現され、非線形周波数変換が効率的に行われるようになる。具体的には、本発明によるシリカMSFは、1270nmより十分に低い波長で(例えば、700～910nmの範囲で、特に、760nmで)ゼロ分散を有することが可能であり、同じ範囲においてGVDは異常(正)となることが可能である。例えば、この範囲における最大GVDは、約910nmにおいて約+80ps/nm・kmである。これに対して、標準的なステップインデックスシングルモードファイバは、760nmで約-130ps/nm・kmの負の分散を有し、910nmでは約-80ps/nm・kmの負の分散を有する。さらに詳細には図6に示す通りである。さらに、本発明のMSFは、近赤外波長(例えば、910～1270nm)でも同様の分散特性を示すように形成可能であることが期待される。ゼロ分散点は、コアの有効直径、コアの材料および組成、空孔のサイズおよび間隔、あるいは、空孔の層の数を変えることによって変更することができる。

【0016】さらに、このようなMSFは、vis-nir領域内で、ADRの両端に1つずつ、2つのゼロ分散波長を示すことも可能である。

【0017】これらの新規な分散特性は、コアの小さい有効面積とともに、本発明のさらに他の特徴を示す新規な応用例につながる。このような応用例は、通信システム、ブロードバンドvis-nir光発生器、パルス圧縮方式、非線形周波数変換器、およびファイバレーザを含む。これらについて、次のセクションで説明する。

【0018】[応用例]図8に示すように、通信システム80は、光送信器82と利用デバイス84の間の通信リンクを提供するシングルモード光ファイバを有する。利用デバイスは、端末機器、光受信器、光検出器、光増幅器などとしてすることが可能である。リンクは、光増幅器、カブラ、マルチプレクサ、アイソレータなどのような、第1ファイバセクション(セグメント)86を第2ファイバセクション(セグメント)89に結合する当業者に周知の1つ以上の光デバイス88を含むことが可能

である。本発明の一実施例によれば、セグメント 86 および 89 の少なくとも一方は、上記のように vis-nir 波長  $\lambda$  でゼロ分散を有する MSF を含み、送信器は、ADR 内のある波長  $\lambda_1$  の信号を発生する光源（例えばレーザ）を有する。

【0019】図 8 のシステムは、いくつかの方法で、パルス圧縮用にすることが可能である。いずれの場合にも、送信器 82 は、ファイバセクション 86 に結合されるパルス光信号を発生する光源（例えば半導体レーザ）を有する。ソリトンによる圧縮の場合、光源は、 $\lambda_1$  は ADR 内にあるが  $\lambda$  に近い（例えば、 $\lambda_1 = 780 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 760 \text{ nm}$ ）ように、かつ、ピークパルスパワーが十分に高くなるように設計され、MSF セグメントの非線形性が MSF の異常分散を補償するように（すなわち、ソリトン伝搬が起こるように）される。光源自体が負にチャープした（すなわち、短波長成分が長波長成分に比べて遅延した）パルスが発生するようなシステムでは、MSF セグメントの異常分散がパルスの負チャープを補償することにより、（MSF セグメントがない場合のシステムに比べて）パルスを圧縮する。他のシステムでは、光源自体は必ずしも負にチャープしたパルスを発生しないが、常（負）分散を有する標準的なファイバセクション 86 のような、システム内の他のコンポーネントをパルスが伝搬するときにそのパルスに負のチャープが引き起こされる。さらに、十分に高いパワーでは、このようなコンポーネントを伝搬するパルスは自己位相変調により広がることは周知である。このようなシステムでは、他方のファイバセクション 89 は、常分散／自己位相変調コンポーネントによって引き起こされる広がりを補償する異常（正）分散を有する MSF となるように設計されることによって、（その MSF セグメントがない場合のシステムに比べて）パルスを圧縮する。

【0020】次に、図 9（当面、グレーティング 96、1 および 96、2 は無視する）に、MSF 96 に結合したポンプ光源 92 を有するコヒーレント vis-nir 光発生器 90 を示す。ファイバ（シングルモードとすることも、マルチモードとすることも可能である）の出力は、利用デバイス 94 に送られる。アプリケーションに応じて、デバイス 94 は、例えば、光検出器、ディスプレイ、または光記憶媒体とすることが可能である。通常、ポンプ光源 92 は、数百ワット以上のピーク光パワーを有する光パルスが発生するレーザであるが、より低いピークポンプパワーでの動作も実現可能である。ポンプ光源出力の波長  $\lambda$  は、ゼロ分散点付近になるように選択される。すなわち、 $\lambda - \Delta\lambda_1 < \lambda < \lambda + \Delta\lambda_2$  であり、 $\Delta\lambda_1$  および  $\Delta\lambda_2$  は必ずしも相等しくない。例えば、 $\Delta\lambda_1$  および  $\Delta\lambda_2$  は、GVD が下限で負（例えば、 $-75 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ ）であり、上限で正（例えば、 $+535 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ ）となるように選択される。

例えば、シリカ MSF の場合、 $690 \text{ nm} < \lambda < 1270 \text{ nm}$  である。次のセクションでさらに詳細に説明するように、MSF における非線形効果（すなわち、位相整合 4 波混合、自己位相変調、ラマン散乱および和周波数発生）の組合せに基づいて、光発生器 90 は、ピークパワーが数キロワットのパルスを発生するとき、青（例えば、 $390 \text{ nm}$ ）から近赤外（例えば、 $1600 \text{ nm}$ ）の vis-nir 波長の範囲にわたる光の広い連続体を放出する。これに対して、従来技術では、ピークパワーが数メガワットの光パルス（このパワーレベルはガラスファイバを損傷する）によってポンピングされるバルクガラスでのみ、可視光出力を発生することができるだけである。例えば、G. Sucha et al., *Optics Lett.*, Vol. 16, No. 15, pp. 1177-1179 (1991)、を参照。発生器 90 は、ポンプパワーあるいはポンプ波長を変えることによって、この波長範囲にわたり出力波長を調整する（それにより、非線形メカニズムがさまざまな波長成分を生成する程度に影響を及ぼす）ことが可能である。

【0021】観測されるいくつかの効果は、ファイバにどのくらい損失があるか、および、ポンプ信号がどのくらい長くファイバに沿って伝搬するかに依存する。もちろん、ほとんどの実用的な通信アプリケーションでは、損失のあるファイバは一般に好ましくないが、発明者のいくつかの実験用ファイバでは、このような損失が存在することにより、このような MSF が娯楽あるいは玩具産業に応用例を見出す可能性を示唆する非常に興味深い観測があった。まず、ファイバにかなりの損失があり、ポンプ信号がかなり急速に（例えば、最初の数センチメートルで）減衰する場合、ファイバ全体が見かけ上同じ色で（すなわち、ほぼ単一波長で）輝く（すなわち、裸眼に対する可視光を放出する）ようにすることができる。また、ファイバの損失が小さく、ポンプ信号がファイバに沿って長く伝搬する場合、1 本の MSF（例えば、 $50 \sim 75 \text{ cm}$ ）は、見かけ上、同時に広いスペクトルの波長を、ファイバの長さに沿って順に異なる位置で放出するようにすることができる。この場合、観察者には、MSF の長さに沿ってきれいな虹の形が見える。例えば、ファイバは、ポンプの最も近くでは赤色に輝き、ファイバの長さに沿ってすぐ隣のセクションはオレンジ色に輝き、ファイバに沿ってさらに後のセクションでは順に、黄色、緑色および青色に輝く。実際には、ファイバはすべての位置で複数の色を放出し、ポンプからの伝搬距離とともにスペクトルは広がっているが（例えば、ポンプの最も近くではほとんど赤色であるが、ポンプから最も遠くではほとんど紫色である）、人間の目の感度（これは緑色で高い）により、ファイバから出る可視光は虹効果を示す。

【0022】図 9 に戻り、光発生器 90 は、線形光キャビティ共振器を形成する周知のファイバグレーティング 96、1 および 96、2 を設け、MSF のコア（例えば

シリカ) (または、MSFと直列に結合した標準的なファイバのセクションのコア) に適当な活性媒質 (例えば、YbやNdのような希土類) をドーピングすることによって、MSFをシングルモードとして設計することにより、レーザとして機能することも可能である。グレーティング96.1は、ポンプ波長で透過的であり、レーザ発振波長 (例えば、活性媒質に応じて920~1116nm) では高度に反射的であるように設計され、一方、グレーティング96.2は、レーザ発振波長では部分的に透過的であり、共振器からレーザ放射の一部が利用デバイス94へ出て行くように設計される。このようなレーザは、CW光源またはパルス (例えばソリトン) 光源として機能することが可能である。あるいは、共振器は、線形共振器としてではなく、周知のリング共振器として形成することも可能である。この場合、入力ファイバおよび出力ファイバが、4ポート光カブラの2つのポートに接続され、リング (ループ) ファイバが他の2つのポートに接続される。リング (ループ) は、MSFファイバのセクションを含み、リング (ループ) の少なくとも一部には、本発明の特徴に従って、活性媒質がドーピングされる。

【0023】第2高調波発生および和周波数発生 of the いずれでも、出力波長はポンプ波長より短い。標準的なシリカ光ファイバでは、2次の非線形性がないために、これらのプロセスは非効率的である (ほとんど存在しない) ことが知られている。従来技術では、さまざまなアプローチにより、2次の非線形性を引き起こそうとしている。1つのアプローチ (分極) では、一般に、ファイバの長軸に沿った周期的なセグメントに、横断方向の電界をかける。この電界は、電極の下のファイバ分子を電気力線の方向に沿って整列させる (すなわち、分子は分極することにより、所望の2次の非線形性を引き起こす。周期的分極が必要であるのは、標準的なファイバのGVDにより、相互作用するポンプ波と発生される (SHGまたは和周波数) 波とが互いに位相がずれるためである。この効果を低減するため、隣り合う周期的電極どうしの間の領域では分極電界をファイバにかけない。1550nmでの動作の場合、ファイバの分極セクションは通常長さ約1cmであり、約55μmの周期の複数の直列電極を含み、各電極は長さ約50μmである。例えば、V. Pruneri et al., *Optics Lett.*, Vol.24, No.4, pp.208-210 (Feb 1999), を参照。これに対して、本発明のもう1つの実施例によれば、図10に示すように、ポンプ波と発生波の間の位相ずれを補償するために周期的分極は不要である。代わりに、vis-nir領域におけるMSF106中の分散への導波路の寄与が比較的大きく、位相整合相互作用を実現することができるということを利用する。具体的には、MSF106 (より長いファイバの一部 (セクション) であることも可能である) は、ポンプ光源102を利用デバイス104に接続す

る。矢印108で示すように、分極は、ファイバの所定の長さに沿って横断方向の非周期的電界をかけることにより、MSF106中に引き起こされる。長い、ほぼ連続的な長さ (例えば、1cmのオーダー) にわたり、ファイバ分子は所望の2次の非線形性を引き起こす。(バルクシリカの分散プロファイルに比べて) 分散プロファイルが十分に变化するため、ポンプとの位相整合が容易になる。

【0024】以下の例では、本発明のいくつかの実施例によるMSFに対して実行した実験について説明する。さまざまな材料、寸法および動作条件は、特に断らない限り単なる例示であり、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

【0025】[例1] この例では、MSFの設計は図4に示したものと類似しているが、5個の薄層構造が、内側クラッド内の、コア領域の外側境界から約30μm以内に含まれる点で異なる。内側クラッド構造14.1はほぼ円形であり、毛管空孔 (n=1) はそれぞれ直径が約1.7μmである。コア12および外側クラッド16はシリカ (n=1.45) からなる。ほぼ円形のコアは、直径約2.25μmであり、有効面積は約4μm<sup>2</sup>であり、空孔の中心間隔は約2.0μmである。外側クラッドの直径は約125μmであり、ファイバ長は約75cmである。内側クラッドの材料は主として空気 (n=1) であるが、一部シリカ (n=1.45) を含み、Δは31%以下であり、約10~20%以上であると推定される。

【0026】Ti-サファイアポンプレーザ (約700~1000nmの範囲にわたり同調可能) をファイバの一端に接続した。このレーザは、約1Wまでの平均パワーおよび数kWまでのピークパワーを有する100fsパルスを発生した。

【0027】MSFのGVDは、空気バスを基準とするマイケルソン干渉計で1メートルのファイバセクションの群遅延を測定することによって決定した。ポンプの中心波長は約770nm~約910nmに合わせた。図6に、MSF (正方形のデータ点) と、標準的なシングルモードステップインデックスファイバ (円形のデータ点) のGVDの測定値を示す。標準的なファイバは、主としてバルクシリカの材料分散 (770~910nmの範囲では約-135~-76ps/nm·km) に類似の材料分散による常 (負) GVDを示し、ゼロ分散波長は約1270nmであったが、本発明のMSFは、このスペクトル範囲全体にわたり異常 (正) 分散を示し、計算されたゼロ分散波長は約760nmであった。本発明のシリカMSFの材料分散は、上記の標準的なシリカファイバの材料分散と同様であった。

【0028】本発明のMSFの新規な分散特性を小さい有効面積のコアと組み合わせた結果、多くの非線形効果を約800nmで観測した。このような非線形効果は、

われわれの知る限り、従来は約1300nm以上の波長でしか可能でなかったものである。これらの非線形効果には、パルス圧縮、明るいソリトン伝搬、基本モード間第2高調波発生、およびブロードバンド連続体発生がある。例えば、図7に、780nmにおける、ピークパワー8.0kWの100fsパルスを上記の長さ75cmのMSFに注入することによって発生された白色光シングルモード連続体のスペクトルを示す。このMSFセグメントの出力を、標準的なファイバビグテールを通じて、周知の光スペクトラムアナライザに接続した。これらのデータは、約31%の変換効率(ポンプ光から、約350~700nmの範囲の可視光への)を示している。

【0029】[例2] 例1で説明したのと同様の実験で、MSFの代わりに、図1および図2に示したものに対応するMSFファイバを用いた。この例では、内側クラッド構造14、1はほぼ円形であり、毛管空孔( $n=1$ )はそれぞれ直径が約2.9 $\mu\text{m}$ である。コア12および外側クラッド16はシリカ( $n=1.45$ )からなる。コアはほぼ楕円形である(長径は約4.4 $\mu\text{m}$ であり、短径は約3.3 $\mu\text{m}$ であり、有効コア面積は約11 $\mu\text{m}^2$ である)。空孔の中心間隔は約6.6 $\mu\text{m}$ である。外側クラッドの直径は約125 $\mu\text{m}$ であり、ファイバ長は約2mである。内側クラッドの材料は主として空気( $n=1$ )であるが、一部シリカ( $n=1.45$ )を含み、 $\Delta$ は31%以下であり、約10~20%以上であると推定される。このファイバはマルチモードになりそうなので、このファイバの分散特性は測定していないが、同じタイプの白色光連続体を観測した。このことから、このファイバは、例1で説明したMSFと同様の分散特性を有すると合理的に推論することができる。

【0030】[例3] この例では、例1で説明したタイプのMSFにおけるパルス伝搬特性を測定するように実験を設計した。ファイバの長さは20mであり、例1で説明したタイプのポンプレーザと干渉計自己相関装置の間に接続した。ファイバに結合されるポンプレーザの出力は、波長が780nm、継続時間が110fs、および、ピークパワー7.9Wの光パルスであった。比較的低いポンプパワーでは、このファイバは主として異常分散を示し、継続時間約400fsの出力パルスを発生する。しかし、十分に高いポンプパワーでは、MSFにおける非線形性がこの異常分散を補償した。その結果、MSFは、図11に示すように、約175fsのみの光パルスを発生した。これらのデータは、パルスがファイバ内をソリトンとして伝搬したことを示唆する。

【0031】[例4] この例では、例1で説明したタイプのMSFにおける基本横モード間第2高調波発生を測定するように実験を設計した。ファイバの長さは10cmであり、ポンプレーザと周知の光スペクトラムアナライザの間に接続した。ファイバに結合されるポンプレー

ザの出力は、波長が約890nm、継続時間が約110fs、および、ピークパワーが約200Wの光パルスであった。896nmの2個のフォトンが相互作用して第2高調波における1個のフォトンが発生した。図12に示すように、MSFの出力スペクトルは、ほぼポンプ波長(約896nm)および第2高調波(約448nm)にピークを示した。

【0032】[例5] この例では、例1で説明したタイプのMSFにおける4波混合を測定するように実験を設計した。ファイバの長さは10cmであり、ポンプレーザと周知の光スペクトラムアナライザの間に接続した。ファイバに結合されるポンプレーザの出力は、波長が約855nm、継続時間が約80fs、および、ピークパワーが約1200Wの光パルスであった。約855nmの2個のフォトンが相互作用して約530nmにおける1個のフォトンおよび約2427nmにおける1個のフォトンが発生した。図13に示すように、MSFの出力スペクトルは、ほぼポンプ波長(約855nm)および約530nmにピークを示した。2427nmにおける信号は、われわれが利用可能な装置では測定することができなかったが、存在することは確実であると考えられる。

【0033】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、可視および近赤外波長で比較的大きい非線形相互作用を示すデバイスおよびシステムが実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 単一層の空孔が、密に充填された六角形を形成する、本発明の一実施例による微細構造光ファイバの概略断面図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図2】 図1のファイバのコアおよび空孔領域の拡大図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図3】 単一層の空孔が、密に充填された三角形を形成する、本発明の代替実施例による微細構造光ファイバの概略断面図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図4】 2層の空孔が、密に充填された六角形を形成する、本発明のもう1つの実施例による微細構造光ファイバの概略断面図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図5】 空孔がコアの両側に半円形領域を形成する、本発明のさらにもう1つの実施例による微細構造光ファイバの概略断面図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図6】 標準的な伝送ファイバ(円のデータ点)の群速度分散(GVD: group velocity dispersion)と比較した、シングルモード微細構造ファイバ(正方形のデータ点)のGVDの測定値のグラフを示す図である。

【図7】図1および図2に示したタイプの微細構造ファイバの75cm切片（セクション）を、継続時間100fs、ピークパワー8.0kW（エネルギー0.8nJ）、波長780nmという特性の光パルスでポンピングした場合に発生される光スペクトル連続体（実線）のグラフを示す図である。ポンプパルスのスペクトル（点線）も示す。

【図8】本発明のさらにもう1つの実施例による光通信システムの概略ブロック図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図9】本発明のさらにもう1つの実施例によるファイバ光発生器（例えばレーザ）の概略ブロック図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図10】本発明のさらにもう1つの実施例による第2高調波発生または和周波数発生のための分極ファイバ装置の概略ブロック図である。明確化および単純化のため、正しい縮尺では図示していない。

【図11】本発明の一実施例によるパルス圧縮（ソリトン伝搬）実験による、微細構造光ファイバからの出力パルスの自己相関測定の結果である。

【図12】本発明のもう1つの実施例による第2高調波発生実験による、微細構造光ファイバからの光出力パルスのスペクトルを示すグラフの図である。

10

20

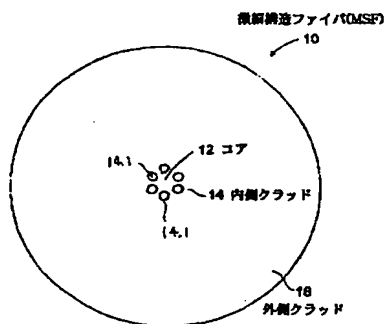
\*

\*【図13】本発明のさらにもう1つの実施例による4波混合実験による、微細構造光ファイバからの光出力のスペクトルを示すグラフの図である。

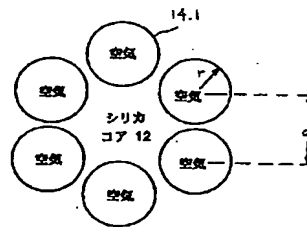
【符号の説明】

- 10 微細構造ファイバ（MSF）
- 12 コア
- 14 内側クラッド
- 16 外側クラッド
- 18 放射状リブ
- 80 通信システム
- 82 光送信器
- 84 利用デバイス
- 86 第1ファイバセクション
- 88 光デバイス
- 89 第2ファイバセクション
- 90 コヒーレントvis-nir光発生器
- 92 ポンプ光源
- 94 利用デバイス
- 96 MSF
- 96.1 ファイバグレーティング
- 96.2 ファイバグレーティング
- 102 ポンプ光源
- 104 利用デバイス
- 106 MSF

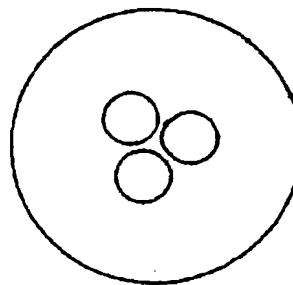
【図1】



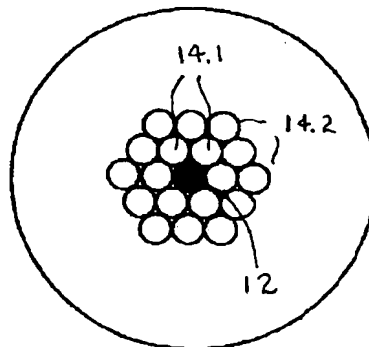
【図2】



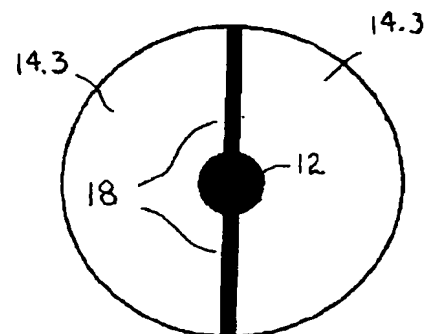
【図3】



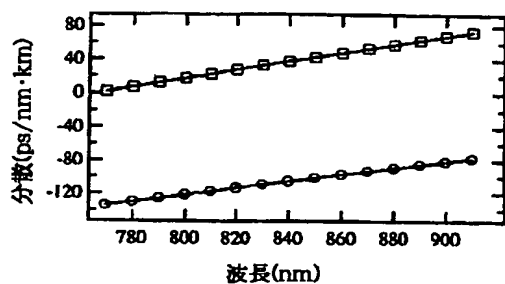
【図4】



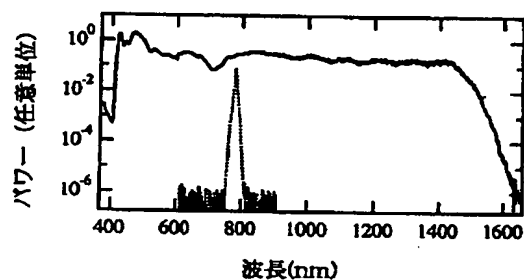
【図5】



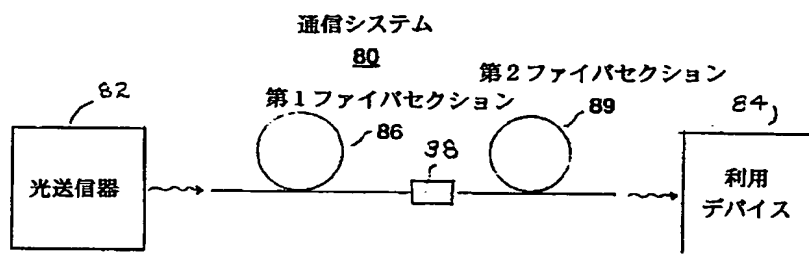
【図6】



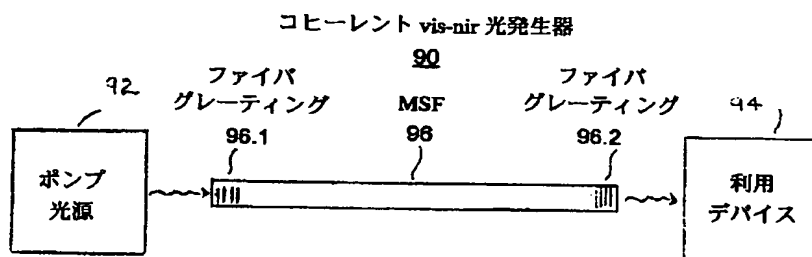
【図7】



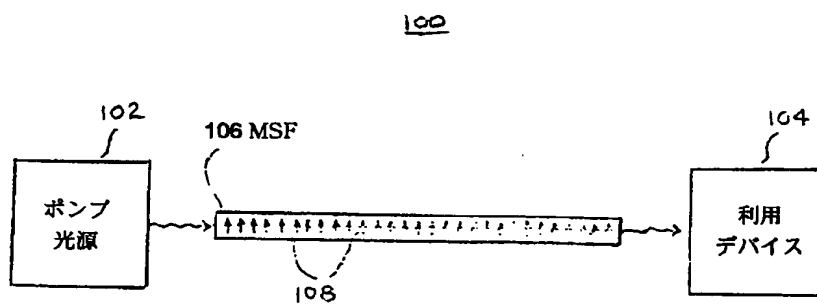
【図8】



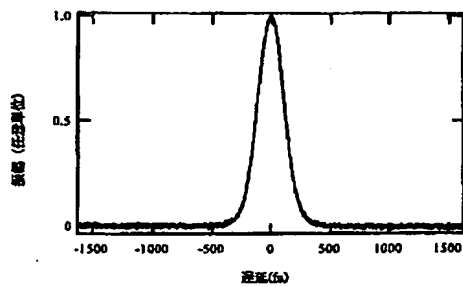
【図9】



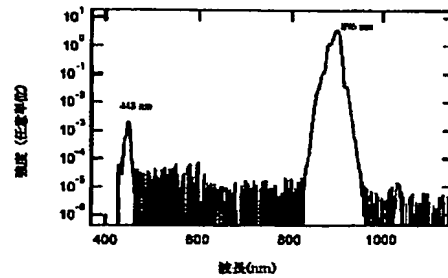
【図10】



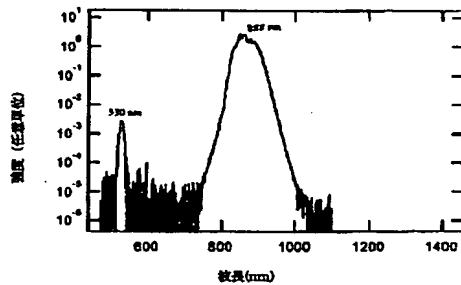
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H04B 10/28

10/02

識別記号

F I

H04B 9/00

テーマコード(参考)

W

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636 U. S. A.

(72)発明者 ジネンドラ クーマー ランカ

アメリカ合衆国、07974 ニュージャージ  
ー、マレー ヒル、サウスゲート ロード  
24、アパートメント 1エー

(72)発明者 ロバート スコット ウィンデラー

アメリカ合衆国、08801 ニュージャージ  
ー、アナンデール、ウィロウ ブロック  
レーン 6

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成14年12月18日(2002.12.18)

【公開番号】特開2000-356719(P2000-356719A)

【公開日】平成12年12月26日(2000.12.26)

【年通号数】公開特許公報12-3568

【出願番号】特願2000-144727(P2000-144727)

【国際特許分類第7版】

G02B 6/10

6/16

6/20

6/42

H01S 3/06

H04B 10/28

10/02

【F I】

G02B 6/10 A

6/16

6/20 Z

6/42

H01S 3/06 B

H04B 9/00 W

【手続補正書】

【提出日】平成14年9月27日(2002.9.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光放射が伝搬することが可能なコア領域と、  
前記コア領域を包囲し、前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、  
前記内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有する微細構造光ファイバにおいて、  
前記内側クラッド領域は、前記コア領域の周りの少なくとも1つの比較的薄い層として配置された複数の構造を有し、該構造は、光放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバがvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散(以下「ADR」という)を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする微細構造光ファイバ。

【請求項2】 前記構造は、複数の比較的薄い層として配置されることを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項3】 前記内側クラッド領域は、前記構造を形成する毛管空孔を有することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項4】 前記ファイバは、負の常分散または自己位相変調を有する第2部分を有し、前記第1部分は、前記第2部分の常分散または自己位相変調を補償する正の異常分散を有することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項5】 前記微細構造光ファイバは、ポンプ光源と、該ポンプ光源のポンプ出力を受け取る光ファイバとをさらに有し、

前記ファイバは、前記微細構造光ファイバの少なくとも一部であり、

前記ポンプ出力の波長 $\lambda_p$ は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記微細構造光ファイバは、vis-nir波長の放射のブロードバンド連続体を発生することを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項6】 前記微細構造光ファイバは、光キャビティ共振器を形成する共振器手段をさらに有し、該共振器手段は、前記光ファイバを含み、該光ファイバの少なくとも一部には活性媒質がドーピングされ、前記ポンプ出力の波長は、前記ADR内にあり、前記ゼロ分散波長にほぼ等しいことを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項7】 前記ファイバの少なくとも一部のセグメ



ントの分子を非周期的に分極して該ファイバ中の2次の非線形効果を増大させたことを特徴とする請求項1に記載の微細構造光ファイバ。

【請求項8】 光放射が伝搬することが可能なコア領域と、

前記コア領域を包囲し、前記コア領域よりも有効屈折率が低い内側クラッド領域と、

前記内側クラッド領域を包囲する外側クラッド領域とを有する微細構造光ファイバにおいて、

前記内側クラッド領域は、前記コア領域の両側に配置された1対のほぼ半円形の構造を有し、該構造は、光放射の屈折率導波に有効であり、前記コア領域および前記内側クラッド領域は、前記ファイバがvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合されることを特徴とする微細構造光ファイバ。

【請求項9】 光信号を発生する送信器と、

前記信号を受信する受信器と、

前記送信器から前記受信器へ前記信号を結合する伝送媒体とを有する光通信システムにおいて、

前記媒体は光導波路の部分とを有し、該導波路は、

前記信号が伝搬するコア領域と、

前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、

前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、

前記送信器は前記ADR内のvis-nir波長で光信号を発生することを特徴とする光通信システム。

【請求項10】 光パルスが発生するレーザと、

前記パルスを受け取るシングルモード光導波路とを有する光システムにおいて、

前記導波路は、

前記パルスが伝搬するコア領域と、

前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、

前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-

nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、

前記レーザは前記ADR内のvis-nir波長で光信号を発生することにより前記パルスを圧縮することを特徴とする光システム。

【請求項11】 ポンプ信号を発生するポンプ光源と、前記ポンプ信号を受け取る光導波路とを有する、vis-nir波長で放射を発生する光発生器において、

前記導波路は、

前記信号が伝搬するコア領域と、

前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、

前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、

前記ポンプ出力の波長 $\lambda_p$ は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記導波路は、vis-nir波長のブロードバンド連続体として前記放射を発生することを特徴とする光発生器。

【請求項12】 基本横モードポンプ信号を発生するポンプ光源と、

前記ポンプ信号を受け取る光導波路とを有する、vis-nir波長で放射を発生する光発生器において、

前記導波路は、

前記信号が伝搬するコア領域と、

前記コアに隣接するクラッド領域とを有し、

前記コア領域の有効面積、および、前記コア領域と前記クラッド領域の間の有効屈折率差は、前記導波路がvis-nir波長範囲にわたり異常群速度分散（以下「ADR」という）を示すとともに同じ範囲にゼロ分散波長を有するように相互に適合され、

前記ポンプ出力の波長 $\lambda_p$ は、前記vis-nir波長範囲内にあることにより、前記導波路は、基本横モードで、前記ポンプ出力の波長より短いvis-nir波長で前記放射を発生することを特徴とする光発生器。